

УДК 528.85

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Е.В. КОЧУБ, канд. геогр. наук, доц. А.А. ТОПАЗ*  
(Белорусский государственный университет, Минск)

*В виде схем представлены результаты классификации методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли. Проведен сравнительный анализ методов предварительной обработки изображений, среди которых геометрические, радиометрические и яркостные преобразования снимков. Показана сравнительная характеристика пиксельно-ориентированной и объект-ориентированной классификаций, относящихся к тематической обработке изображений. Обозначены перспективные направления в области обработки изображений дистанционного зондирования Земли.*

**Введение.** За последние десятилетия объем, разнообразие и качество материалов дистанционного зондирования существенно возросли. Основная цель использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – извлечение из них полезной информации, которая используется для составления топографических и тематических карт, инвентаризации земель, эколого-географической оценки территорий, исследований динамики природных и антропогенных объектов и явлений, создания оперативных и прогнозных карт и т.д. Очевидно также, что дальнейший прогресс в развитии географических наук неразрывно будет связан с использованием материалов ДЗЗ и совершенствованием технологий их обработки.

Учитывая, что в настоящее время значительную часть материалов ДЗЗ получают в цифровом виде, в данной области наблюдается переход к цифровым методам обработки дистанционной информации. Эффективность же использования дистанционных материалов зависит не только от картографо-фотограмметрических особенностей исходного снимка, но и от принятой методики работы с ними и применяемых методов обработки. Именно на этапе выбора подходящих методов и алгоритмов работы зачастую возникают существенные трудности, так как методы в данной области являются преимущественно проблемно ориентированными и общего подхода к улучшению изображений не существует. Следовательно, изучение и систематизация методов является актуальной проблемой.

В результате анализа существующих методов обработки материалов ДЗЗ были разработаны схемы, которые позволяют привести многообразие подходов и приемов данной области в четкую иерархическую систему и выполнить их сравнительный анализ, что позволит определить степень востребованности тех или иных методов и выявить наиболее перспективные из них.

### **Классификация и анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли**

Все методы обработки изображений ДЗЗ могут быть разделены на две основные группы:

1) улучшение изображений (в литературе встречается также ряд синонимичных названий: предварительная обработка изображений, коррекция изображений, реставрация изображений). Это методы, обеспечивающие преобразования снимков, направленные на облегчение визуального дешифрирования, повышение его объективности и достоверности, а также подготовку снимков к последующему автоматизированному дешифрированию и созданию карты;

2) тематическая обработка изображений (извлечение информации из изображений ДЗЗ). Это методы автоматизированного дешифрирования – классификации объектов по снимкам с использованием априорной информации о признаках выделяемых классов или без нее.

Характеризуя **первую группу методов**, можно отметить, что данные методы являются преимущественно проблемно ориентированными; так, метод улучшения, являющийся полезным для одного снимка, не обязательно окажется полезным для другого. Таким образом, общего подхода к улучшению изображений не существует. Подбор методов зависит в первую очередь от характера данных, цели обработки, знания представленной на изображении области и подготовленности (опыта в проведении работ по улучшению изображений). Тем не менее в основе процесса по улучшению материалов ДЗЗ можно выделить три основных вида коррекции изображений, включающих геометрические, радиометрические и яркостные преобразования (рис. 1).

*Геометрическая коррекция* основана на принципах цифровой фотограмметрии. В результате проведения геометрических преобразований координаты элементов цифрового снимка связываются с пространственными координатами (географическими или геодезическими), а снимок трансформируется в заданную проекцию. Координатная привязка изображения может осуществляться путем поворота изо-

бражения (так как оси координат цифрового снимка, как правило, не параллельны ни сетке параллелей и меридианов, ни сетке прямоугольных координат). Для этого используется метод ввода «чистых» пикселей, не требующий перестройки изображения. Существует также ряд методов, которые осуществляют привязку путем автоматизированного цифрового трансформирования координат. Среди них наиболее распространенными являются аффинная и полиномиальная (аппроксимационная) модели преобразования, модель «резинового листа» (интерполяционная) и др. [1].



Рис. 1. Иерархическая структура методов предварительных преобразований изображений ДЗЗ

*Аффинная модель* позволяет исправлять линейные искажения на изображении путем простейших линейных преобразований (изменение размеров, поворот, сдвиг). Данный метод используется для устранения систематических ошибок, одинаковых для всех пикселей изображения. В частности, при необходимости преобразовать растровую версию карты (или уже скорректированное изображение) из исходной в новую картографическую проекцию. Использование аффинной модели преобразования также может дать удовлетворительные результаты при геометрической коррекции полученного в надири авиационного или спутникового изображения небольшой области с незначительным изменением рельефа местности (поверхность приближается к плоскости, и смещение вследствие наклона местности является небольшим или отсутствует). Данный метод требует минимум трех опорных точек, не лежащих на одной прямой линии.

*Полиномиальная (аппроксимационная) модель* в отличие от аффинных преобразований позволяет исправлять более сложные искажения на изображении, в частности используется для исправления как линейных, так и нелинейных геометрических искажений на снимках. Основная цель данного преобразования заключается в определении такого аппроксимирующего полинома, который бы обеспечил наименьшее отклонение координат опорных точек изображения от заданных координат. Полиномы разной степени определяются исходя из характера искажений на изображении, а также количества и рассредоточения опорных точек. Чем выше порядок аппроксимации полинома, тем точнее обработка изображения, но тем больше для этого требуется опорных точек, также значительно возрастает сложность вычислений. Для многих случаев полином 1-й или 2-й степени является достаточным. Так, *аппроксимация полиномом первого порядка* позволяет осуществлять линейные преобразования координат и работать с изображениями, описывающими

небольшие участки земной поверхности (без учета кривизны земной поверхности). *Аппроксимация полиномами второго порядка* используется для нелинейных преобразований (например, для перевода данных из географической системы координат в прямоугольную) и является оптимальной при работе со спутниковыми изображениями больших областей (для учета кривизны Земли). Полином 2-й степени позволяет избавиться от искривлений, идущих в одном направлении (вогнутость или выпуклость), и поэтому часто используется для исправления радиальных искажений, обусловленных формой линзы камеры или Земли, после чего возможна точная привязка изображений, искаженных по данной причине.

Полиномы более высокой степени используются для коррекции сложных геометрических искажений изображения, при этом, однако, зачастую происходит появление искажений в областях между опорными точками, особенно по краям снимка. Минимальное число точек при аппроксимации полиномом первого порядка – 3, полиномом второго порядка – 6, полиномом третьего порядка – 10. Для обеспечения достаточного уровня точности обычно требуется число точек, равное удвоенному минимальному числу полиномов.

*Модель «резинового листа» (интерполяционная)* отличается от двух предыдущих тем, что в ее основе лежит использование заданных фиксированных опорных точек изображения, которые не меняют своих координат в процессе трансформирования. При этом положение остальных точек вычисляется на основе интерполяции координат. Этот процесс можно проиллюстрировать растяжением резинового листа с нанесенной на него координатной сеткой так, чтобы определенные точки заняли положение с определенными координатами.

Также выделяется *ряд специальных моделей*, которые представляют собой модификации или комбинации различных методов и используются для более эффективной трансформации изображений, среди них метод триангуляции, рациональных полиномов и др. [2].

*Радиометрическая коррекция* – это исправление аппаратных радиометрических искажений, обусловленных характеристиками используемого съемочного прибора и средой прохождения излучения (атмосферой). Радиометрическая коррекция данных ДЗЗ выполняется в основном двумя методами: с использованием известных параметров и настроек съемочного прибора (корректировочных таблиц) или статистически [4]. В первом случае необходимые корректировочные параметры определяются для сенсора на основе длительных наземных и полетных испытаний. Во втором случае улучшение выполняется путем выявления дефекта и его характеристик непосредственно из подлежащего улучшению изображения. Качество улучшения в первом случае выше, чем при статистическом методе, так как при этом учитываются особенности создавшего изображение сенсора.

Виды дефектов на изображениях, которые устраняются путем радиометрической коррекции: сбойные пиксели, выпадающие строки, модуляция (полосатость), искажения за счет влияния атмосферы.

*Пропущенные (сбойные) пиксели* могут возникнуть во время съемки или передачи данных, также случается замена значений яркости целой строки значениями соседней строки. Такие явления могут стать помехой при тематической обработке снимка. Пропущенные пиксели можно восстановить с определенной погрешностью путем интерполяции. *Модуляция изображения (полосатость)* проявляется в виде полос, параллельных или перпендикулярных оси изображения, при этом данные полосы представляют собой непостоянные значения яркости, для которых нет некоторого постоянного ошибочного коэффициента или смещения. Наиболее очевидно полосатость проявляется на изображениях с однородными областями (пустыни, водные объекты, растительность). Разработаны различные методы исправления полосатости: анализ Фурье, метод главных компонент и др. Кроме того, в настоящее время данная проблема практически устранена в сенсорах новых поколений. *Исправление выпавших строк* происходит в случае, когда датчик съемочного прибора полностью выходит из строя. В результате на изображении создается полоса с более высокими значениями яркости. Данная проблема наиболее характерна для сенсоров Landsat 4,5 TM. Выпавшие строки исправляются заменой на предполагаемые значения яркости, основываясь на значениях яркости строк выше и ниже выпавшей.

Наличие атмосферы значительно осложняет зависимость между солнечным излучением и излучением, которое определяет датчик. Корректировка параметров изображения с учетом влияния атмосферы на распространение света осуществляется тремя способами. Во-первых, *методом математического моделирования*, когда рассеивание в атмосфере и параметры поглощения вычисляются с помощью компьютерных программ (среди которых наиболее популярны LOWTRAN и MODTRAN). Во-вторых, с помощью *калибровки цели*, при этом необходимо знать показатели рассеивания с заданной точностью для определенного спектрального диапазона; каждый калибратор должен обеспечивать охват области как минимум в несколько пикселей и настройку на различные атмосферные условия. В-третьих, путем *вычитания темных пикселей*. Это самый простой и широко применяемый способ коррекции. Он основан на

предположении, что пиксель с наиболее низким радиометрическим показателем яркости в каждой зоне должен быть в действительности нулем, а его ненулевое значение является результатом вызываемых атмосферой аддитивных помех. Так, например, облака и туманы хорошо видны на фоне воды, так как в красном и инфракрасном участках спектра поверхность воды по своим оптическим характеристикам близка к абсолютно черному телу.

*Яркостные преобразования* направлены в первую очередь на улучшение визуального восприятия экранного изображения (улучшение яркости, контраста). Конкретные методы, применяемые при этом, определяются решаемой задачей. В зависимости от свойств изображений выделяются яркостные преобразования чёрно-белых (панхроматических) и многозональных снимков. В первом случае применяются такие методы, как гистограммные преобразования, различные методы фильтрации, устранения шумов, подчёркивания контуров, квантование и цветокодирование. К яркостным преобразованиям многозональных снимков относятся: синтез цветного изображения, математические операции с матрицами значений яркости пикселей, метод главных компонент. Контрастирование выполняется путем преобразования гистограммы изображения, которая характеризует распределение яркостей на снимке и показывает, сколько пикселей изображения приходится на каждый из 256 уровней яркости. Известны 2 подхода к решению задачи контрастирования изображения: первый заключается в растяжении гистограммы (линейное и нормализация), второй – в перераспределении значений яркости (выравнивании гистограммы).

*Линейное растягивание гистограммы* заключается в растяжении существующего на снимке интервала яркостей и последующего пересчета значений яркости. Всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный интервал изменения яркости (0, 255). В случае когда на весь возможный интервал яркостей растягивается лишь отдельный, наиболее интенсивный участок гистограммы, происходит *нормализация гистограммы*. В процессе выравнивания значения яркости пикселей изменяются таким образом, чтобы для каждого уровня яркости было одинаковое или близкое количество пикселей, т.е. проводится сглаживание изображения.

Если основными объектами для анализа являются площадные объекты, актуальным является *подавление шума*, т.е. устранение мелких деталей, представляющих собой резкие локальные скачки яркости. Для решения данной проблемы используются методы фильтрации. *Сглаживающие (низкочастотные фильтры)* позволяют снять шум и убрать мелкие детали, что ведет к получению более однородных участков изображения, пригодных для дальнейшей обработки с целью выявления тех или иных объектов, к ним относятся *усредняющий и медианный фильтры и преобразование в скользящем окне*. Принцип их действия заключается в некотором преобразовании значений яркости для каждой точки изображения на основе информации о яркости её соседей в какой-либо достаточно ограниченной окрестности. *Высоко-частотные фильтры* предназначены для выделения или подчёркивания перепадов значений пикселей, что используется при поиске на изображении границ объектов и выявлении различных структур, проявляющихся в виде сдвига или скачка значений элементов изображения.

Квантование часто используют в случаях неопределённых границ, постепенных переходов. При *квантовании* происходит группировка уровней яркости в несколько относительно крупных ступеней. В результате такого преобразования получается новое изображение, где мелкие «зашумляющие» снимки детали исчезают, а постепенное изменение яркости заменяется четкой границей и большей отчетливостью в распределении яркостей [5].

Наше зрение различает цвета лучше, чем оттенки серой шкалы, поэтому восприятие квантованных снимков можно еще улучшить, если черно-белую шкалу яркостей заменить цветной, т.е. присвоить выделенным ступеням определенные цвета. Это преобразование называют цветокодированием. Его использование особенно целесообразно, если количество уровней яркости на квантованном изображении больше 10. Обычно для кодирования уровней яркости на квантованном изображении используют не более 30 цветов.

*Принцип синтеза цветного снимка* заключается в том, что изображению в каждом из съемочных каналов присваивается свой цвет. Существует несколько моделей формирования цветного изображения. В программах, предназначенных для обработки растровых изображений, чаще других применяется система RGB. Реже используется система IHS, где цвет характеризуется яркостью, тоном и насыщенностью. Наиболее часто для синтеза используются зоны спектра 0,4 – 0,5; 0,5 – 0,6 и 0,6 – 0,75 мкм, которым присваивают соответственно синий, зеленый и красный цвета. Этот вариант синтеза называют стандартным (*натуральная цветопередача*). Цветопередачу, близкую к натуральной, можно получить, если комбинацию съемочных каналов и цветов изменить и присвоить инфракрасной зоне зеленый цвет.

Широко распространенным методом преобразования многозональных снимков является *определение индексов*, т.е. преобразование изображений, основанных на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Наибольшее количество индексов относится к дешифрированию

зеленой, вегетирующей растительности, отделению ее изображения от других объектов, в первую очередь от почвенного покрова и водной поверхности [5]. Часто для этих целей используют нормализованный разностный вегетационный индекс НРВИ, рассчитываемый по формуле:

$$\text{НРВИ} = (B_{ir} - B_r) / (B_{ir} + B_r),$$

где  $B_{ir}$  – значение яркости в ближней инфракрасной зоне;  $B_r$  – в красной зоне.

Значения индекса изменяются в пределах от  $-1$  до  $+1$ . Для растительности характерны положительные значения НРВИ, и чем больше ее фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияют также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, в меньшей степени экспозиция и угол наклона поверхности.

Известны и другие, более сложные преобразования многозональных снимков, например, *преобразование Каута – Томаса (метод «колпак с кисточкой»)*, метод главных компонент. При методе «колпака с кисточкой» яркости в трех зонах необходимо представить как оси трехмерного пространства признаков, таким образом, поворотом осей можно добиться того, что растительность и почвы различаются наилучшим образом. В результате преобразования происходит такая перегруппировка зональных признаков, при которой основная часть информации оказывается сосредоточенной в двух признаках: «яркость», т.е. индекс почвы, и «зеленость», индекс растительности. Последний описывает контраст между ближней инфракрасной и красной зонами [1].

*Метод главных компонент* основан на многомерном статистическом анализе и позволяет строить более информативные линейные комбинации исходных зональных изображений и сокращать количество анализируемых данных. В особенности это имеет значение при гиперспектральной съемке.

Смысл метода заключается в преобразовании исходного многозонального снимка путем создания новых зон – компонент, корреляция между которыми практически отсутствует. Преобразование по методу главных компонент выполняется поворотом системы координат в пространстве исходных спектральных признаков с сохранением евклидова расстояния между точками. Если снимок содержит более трех спектральных каналов, можно создать цветное изображение из трех главных компонент, поскольку в типичном многозональном изображении обычно первые два или три компонента способны описать практически всю изменчивость спектральных характеристик. Остальные компоненты чаще всего подвержены шумовым воздействиям. Отбрасывая эти компоненты, можно уменьшить объем данных без заметной потери информации. Если объекты малого размера и низкого контраста плохо дешифрируются на исходных снимках, часто хорошо выявляются на изображениях отдельных спектральных компонент. Такое преобразование проводят для серии разновременных снимков, приведенных в единую систему координат, для выявления динамики, которая ярко проявляется в одной или двух компонентах [5].

**Вторая группа методов обработки материалов ДЗЗ** касается извлечения информации из обработанных материалов. Данный процесс осуществляется путем логических и арифметических операций, классификаций, линейного анализа и других методических приемов. Сюда же следует отнести визуальное дешифрирование изображения на экране компьютера, которое осуществляется с помощью стереозффекта.

Ключевая роль на этапе тематической обработки отводится классификации, суть которой заключается в сортировке пикселей изображения в конечное количество классов, основанных на определенных значениях признаков. Процедура классификации основывается чаще всего на статистическом анализе различных характеристик изображения: пространственных, спектральных или временных. Выделяют два основных подхода к классификации: *пиксельно-ориентированная и объект-ориентированная классификации* (рис. 2).

Пиксельно-ориентированная классификация изображений ДЗЗ – это группировка, при которой изображение систематизируется исходя из информации о спектральной яркости в каждом отдельном пикселе. При этом классификация проходит «пиксель за пикселем» и один пиксель может принадлежать только одному классу.

Различают абсолютную и относительную виды классификации. *Абсолютная классификация* идентифицирует класс поверхности Земли предварительным определением и накоплением спектральных характеристик всех классов, которые могут быть использованы в любом специфическом приложении. Ее применение требует: эффективного уменьшения влияния атмосферы и высокого спектрального разрешения и большого количества спектральных каналов, что возможно при работе с гиперспектральными изображениями. В будущем за счет огромного потенциала гиперспектральных снимков абсолютная классификация станет доминирующим подходом при обработке материалов ДЗЗ, однако в настоящий момент при работе с данной технологией возникает ряд сложностей. Так, например, изображения авиационных гиперспектральных сенсоров содержат значительные геометрические искажения из-за нестабильности

платформы, спутниковые же сенсоры имеют небольшое пространственное разрешение, а увеличение спектрального разрешения, как правило, сопровождается уменьшением отношения сигнал/шум [1].

В настоящее время наиболее часто используемым подходом при тематической обработке остается *относительная классификация*, основанная на широко используемых мультиспектральных снимках и дополнительно собранных данных, которые необходимы для установления соответствия между группами пикселей со схожими значениями признаков и классами поверхности Земли. Эти данные могут быть собраны в результате полевых исследований, причем более ограниченно по сравнению с классическими полевыми методами, так как классы должны быть идентифицированы только для небольшого количества пикселей.

Согласно тому, введены дополнительные данные до или после классификации, различают два вида относительной классификации: с обучением (*контролируемая классификация*) и без обучения (*неконтролируемая классификация*).

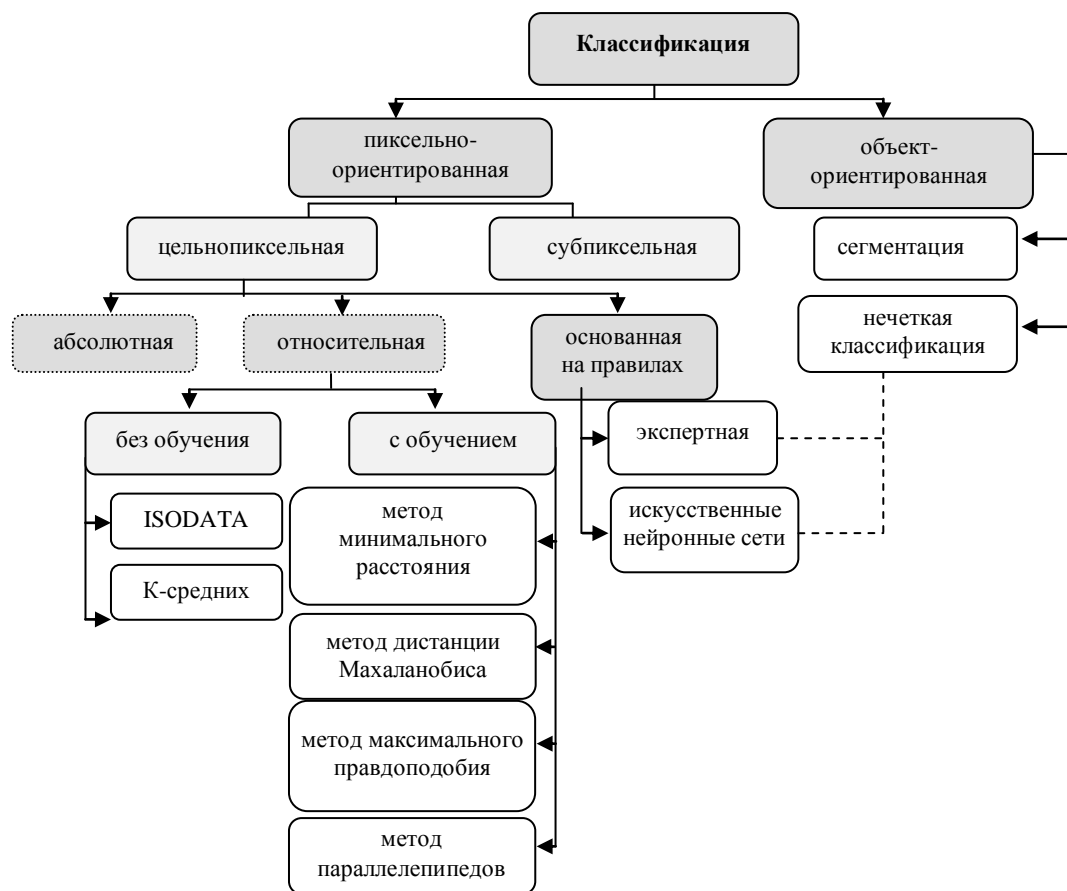


Рис. 2. Иерархическая структура методов тематической обработки изображений ДЗЗ

Суть *неконтролируемой классификации* заключается в разделении всех пикселей изображения на группы (кластеры), название, спектральные характеристики и даже само существование которых предварительно неизвестны. Данная классификация более автоматизирована: требует минимальных начальных данных для выделения кластеров. Критерием отнесения пикселей к тому или другому кластеру служит схожесть спектральных характеристик. В задачу дешифровщика входит последующее определение соответствия выделенных кластеров классам земной поверхности, которое выполняется с использованием дополнительной информации материалов наземных наблюдений, карт и т.д. Таким образом, классификацию без обучения применяют, когда заранее неизвестно, какие объекты есть на снимке, их на изображении большое количество (более 30) и они имеют сложные границы.

Наиболее распространенные методы классификации без обучения: ISODATA и К-средних. Метод классификации без обучения ISODATA (Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных) – это процесс, который основан на кластерном анализе. К одному классу относятся пиксели, значения яркости которых наиболее близки в пространстве спектральных признаков. Процесс выделения кластеров продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное (заранее установленное) количество

итераций или максимальный процент пикселей, не изменивших свой класс во время последней итерации (этот параметр также задается заранее). Данный метод позволяет хорошо выделять кластеры в соответствии с их спектральными различиями, но требует больших временных затрат на вычисление, поскольку алгоритм может повторяться много раз и не учитывается пространственная однородность пикселей. Метод классификации без обучения К-средних (K-Means) отличается от метода ISODATA тем, что требует изначального задания некоторого количества средних значений для формирования начальных классов, следовательно, этот метод используют, когда объекты на снимке достаточно хорошо различаются.

Полученное тематическое изображение может быть использовано для создания предварительного множества классов до выполнения классификации с обучением. Это простой метод кластеризации, требующий незначительных вычислительных затрат. К недостаткам метода относится то, что результаты кластеризации зависят от меры измерения расстояний (обычно используется евклидово расстояние), количества кластеров и начальных средних значений признаков (центров) кластеров [5].

*Контролируемая классификация* основана на использовании признаков объектов, принадлежность которых к определенному классу на местности известна (например, признаки объектов на эталонных участках). При этом происходит сравнение значения яркости каждого пикселя с эталонами, в результате каждый пиксель относится к наиболее подходящему классу объектов. Данная классификация является более точной по сравнению с неконтролируемой, и ее целесообразно проводить, когда заранее известно, какие объекты есть на снимке и что их количество незначительное (не более 30). Среди алгоритмов данной классификации можно отметить следующие способы: параллелепипедов, минимального расстояния, *дистанции Махаланобиса* и максимального правдоподобия. Выбор алгоритма классификации определяется наличием априорной информации, качеством используемого снимка, решаемой задачей, а также опытом и интуицией дешифровщика.

*Способ параллелепипедов* применяют, когда области значения яркости объектов не пересекаются. Это наиболее простой в использовании метод, заключающийся в отнесении пикселей изображения к эталонным классам, полученным в результате анализа гистограммы распределения яркости на изображении. Поскольку область распределения значений спектральных признаков каждого из классов имеет четкие рамки, на снимке могут оказаться пиксели, не попадающие ни в одну из областей, так называемые неклассифицированные пиксели.

*Способ минимального расстояния* используют, когда спектральные признаки разных классов похожи и диапазоны значений их яркости перекрываются. Пиксель относится к тому эталонному классу, евклидово расстояние до центра которого в пространстве признаков минимально. При этом отсутствуют неклассифицируемые пиксели, так как в пространстве признаков каждый пиксель расположен ближе к средним значениям признаков одного из классов. Метод также прост в вычислительном отношении.

*Способ дистанции Махаланобиса* отличается от способа минимального расстояния лишь тем, что в процессе классификации измеряется не евклидово, а расстояние Махаланобиса, что позволяет учесть распределение (дисперсию) значений яркости пикселей в эталонных участках, однако требует больших временных затрат на вычисления по сравнению с первыми двумя способами.

*Способ максимального правдоподобия* рассчитывает вероятность, с которой данный пиксель принадлежит к какому-либо классу. Количество и параметры классов задаются пользователем путем указания обучающих выборок. Каждый пиксель относится к тому классу, к которому он может принадлежать с наибольшей вероятностью. При расчете вероятности учитывается яркость пикселя и яркость окружающих его пикселей. Данный способ имеет высокую точность, учитывает дисперсию значений признаков классов (как в решающем правиле расстояния Махаланобиса) и не оставляет неклассифицированные пиксели (как в методе минимального расстояния). Недостатком метода являются значительные вычислительные затраты.

В отличие от пиксельно-ориентированной, при использовании *объектно-ориентированной классификации* не пытаются классифицировать отдельный пиксель, а сосредотачиваются на объектах изображения, которые получены путем предшествующей сегментации снимка. Объекты оцениваются по их спектральным особенностям, форме и структуре. В дополнение к этому могут быть рассмотрены топологические связи отдельных объектов с их окружением [6]. Наиболее удачно данный метод реализован в немецком программном продукте Definiens eCognition, который был создан для выделения на снимках областей приблизительно одинакового тона и/или цвета, а также для работы с очень текстурными данными. В программе реализуется *метод сегментации*, целью которого является выделение областей (сегментов), однородных в каком-то определенном заданном смысле. Однородность является признаком принадлежности области к определенному классу. Меньшие объекты группируются парами и сливаются в большие (это восходящий процесс, который останавливается, когда размер объектов достигает порога разнородности, определяемого масштабным коэффициентом). Масштаб-

ный коэффициент – это абстрактный термин, который определяет максимальную позволенную разнородность для создающихся объектов изображения. С изменением масштабного коэффициента меняются размеры объектов изображения [7].

Процесс начинается в произвольном пикселе. Средняя разнородность объектов изображения минимизируется, слияние объектов может управляться пользователем, задающим пиксельные значения, форму и размер объектов. После сегментации создается топология для всех объектов (они «знают», где они расположены относительно других объектов). Далее проводится анализ изображения и распознавание значимых элементов, в результате чего определяются объекты и их свойства (форма, структура, иерархия, корреляция между объектами и т.д.).

При выполнении *строгой классификации* лишь одно значение класса присвоено пикселю. При *нестрогой классификации* пикселю может быть присвоено множество значений классов. При этом для каждого пикселя вычисляются функции членства, т.е. рассматривается возможность принадлежности пикселя каждому классу. Результат может быть преобразован в четкое изображение с помощью присвоения пикселю наиболее вероятного значения класса.

*Субпиксельная классификация* заключается в оценке состава смешанного пикселя с точки зрения пропорций классов земного покрова. Для снимков с низким разрешением этот метод не работает, так как гомогенный земной покров (например, как у воды) довольно нетипичен.

Оценка точности результатов нечеткой и субпиксельной классификации требует наличия нечетких или справочных данных подпикселя, которые очень трудно получить. На сегодняшний момент это открытая проблема в области геоинформатики.

В последнее время на передний план выдвигаются также исследования, направленные на автоматизацию деятельности высококвалифицированных специалистов по дешифрированию снимков путём создания экспертных систем, имитирующих работу экспертов. *Экспертная классификация* может быть представлена в форме правила: если – «условие», тогда – «вывод». Подобным образом могут быть построены сложные комбинации правил, называемые базой знаний. Данный метод может быть применен как на пиксельном, так и на объектном уровне классификации. Качество классификации при этом увеличивается пропорционально количеству имеющейся экспертной информации. Экспертная классификация больше похожа на ГИС-анализ, чем на традиционную классификацию данных ДЗЗ. Программное обеспечение использует подход, основанный на применении правил и переменных, определенных пользователем, и различные комплексные источники информации (растровые снимки, векторные слои, графические модели, внешние программы и т.д.). Этот подход подобен логике и структуре графических моделей и обеспечивает лучшую структуру анализа сложных правил и решений. Экспертный классификатор состоит из ветвей дерева решений: гипотезы, правил (одного или нескольких) и условий. Все условия должны соблюдаться, тогда как соблюдение любого правила достаточно. Удовлетворение одного из нескольких правил приводит к принятию гипотезы [8]. Создание точной и эффективной базы знаний является достаточно сложной задачей и может потребовать нескольких обработок и повторений. Готовые базы знаний служат основой экспертных систем, использование которых помогает осуществлять комплексный анализ космических снимков.

В последние десятилетия методы в области обработки данных ДЗЗ довольно интенсивно развиваются: появляются новые классификаторы, основанные на последних достижениях в области моделирования искусственного интеллекта и других областях прикладной математики (например, нейронные сети). *Метод искусственных нейронных сетей (ИНС)* является «черным ящиком» для распознавания образов. Этот метод возник в попытке смоделировать логику человеческого мышления. Название «нейронная» используется по аналогии с человеческим мозгом (сетью нейронов), важнейшей особенностью которого является способность к обучению. Определение классов при использовании ИНС напоминает определение экспертных правил, однако ИНС строит эти правила неопределенным способом. Прежде чем ИНС сможет выполнить задачу распознавания образов, она должна обучаться с использованием соответствующего набора данных [9]. Преимуществами нейронных сетей являются их нелинейность, возможность работы с комплексными данными (оптическими, радарными, ГИС-слоями, цифровыми моделями рельефа), отсутствие необходимости определения правил. Недостатки – трудность обучения, невозможность управлять внутренним процессом («черный ящик»), а также делительные вычисления [8].

**Заключение.** Анализ разработанных к настоящему времени методов цифровой обработки изображений ДЗЗ позволил сделать следующие *выводы*:

- для работы с дистанционными данными и извлечения из них содержательной информации требуются специальные методы обработки, которые можно разделить на две группы – методы улучшения изображений и методы тематической обработки. В настоящее время эти методы реализованы в системах обработки изображений и специализированном программном обеспечении;



- в области обработки материалов ДЗЗ накоплен немалый опыт распознавания и дешифрирования изображений, однако универсальных методов для полностью автоматизированного дешифрирования снимков пока нет;

- так как тематическая обработка материалов ДЗЗ на современном этапе производится непосредственно потребителем, выбор оптимальных методов улучшения изображений и тематической обработки зависит от цели и задач проводимых исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 790 с.
2. Кравцов, С.Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов) / С.Л. Кравцов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 256 с.
3. Назаров, А.С. Фотограмметрия: учеб. пособие для студ. вузов / А.С. Назаров. – Минск: ТетраСистемс, 2006. – 368 с.
4. Вудс, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Вудс, Р. Горсалес; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
5. Кашкин, В.Б. Дистанционное зондирование Земли из Космоса: учеб. пособие / В.Б. Кашкин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
6. Blaschke, T. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS / T. Blaschke, J. Strobel // GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme. – 2001. – № 6. – P. 12 – 17.
7. eCognition User Guide. Defniers, 2002. – 72 p.
8. Ольшевский, А. Выбор оптимального метода классификации космоснимков для целей автоматизированного дешифрирования видов земель / А. Ольшевский // Земля Беларуси. – 2010. – № 1. – С. 42 – 48.
9. Саймон, Х. Нейронные сети: полный курс (Neural Networks: A Comprehensive Foundation) / Х. Саймон. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

Поступила 07.09.2012

#### ANALYSIS OF THE METHODS OF PROCESSING OF THE MATERIALS FROM EARTH REMOTE SENSING

**E. KOCHUB, A. TOPAZ**

*The results of the classification of the processing of the materials from earth remote sensing are listed in this article in a schematic form. The comparison of the methods of pre-processing of images, providing brightness, radiometric and geometric transformations of images are introduced in this article. The methods of classifying of images (thematic image processing) are also listed in the article. Promising areas in the field of image processing of remote probing are identified.*